

学校编码: 10384
学 号: 23320081153315

分类号____密级____
UDC____

探地雷达信号时频特征研究

黄吉林

指导教师:

张建中
教授

厦门大学

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

探地雷达信号时频特征研究

Research on Time-Frequency Characteristics of Ground
Penetrating Radar Signal

黄 吉 林

指导教师姓名: 张 建 中 教授

专 业 名 称: 信号与信息处理

论文提交日期: 2011 年 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

时频分析是近年来现代信号处理研究的一个热点，它为时变非平稳信号的分析提供了有力工具。这种分析方法提供了时间域与频率域的联合分布信息，因而可以清楚地描述非平稳信号频率成分随时间变化的关系。探地雷达是以地下不同介质电性差异为物理前提的一种无损探测技术，具有快速便捷、操作简单、探测分辨率高、抗干扰和场地适应能力强等方面的优势，被广泛应用于国民经济建设和军事领域。探地雷达信号是典型的非平稳信号，时频分析成为探地雷达信号处理的有力工具。

本文介绍了短时傅立叶变换，小波变换，双线性变换，S变换和广义S变换几种常见的时频分析方法，比较了它们的优缺点和时频分辨率，重点讨论了S变换的基本原理，指出S变换与短时傅立叶变换和小波变换之间的内在联系。目前关于物体探地雷达信号的时频处理，主要集中在通过时频分析方法去除干扰波和噪声，提高剖面信噪比和分辨率，对物体进行检测和定位，或者进一步提取统计特征量对物体进行识别和归类，且以地雷的探测研究居多，而对探地雷达目标信号的时频特征还鲜有研究。本文将以小物体和楔形薄层为研究对象，利用广义S变换，探索目标体几何参数、电性参数（介电常数和电导率）变化时探地雷达信号时域和时频域特征的变化规律，建立时频属性与目标体相关参数间定性或定量关系，从而在时频域对探地雷达信号进行解释。

关键词：探地雷达；时频分析；时频属性

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Time-frequency analysis has been a hotspot in modern signal processing research over the past few years, it acts as a powerful tool for variable non-stationary signal analysis. The method provides the joint distribution of information both in time and frequency domain, which can clearly describe how the frequency components of non-stationary signal change over time. Ground penetrating radar(GPR) is a non-destructive detection technology based on the difference of electrical properties of different media underground, it is fast and convenient、easy for operation、highly resolved、immune from interference and site adaptable which is widely used in economic development and military field. GPR signal is typical non-stationary signal, time-frequency analysis becomes a powerful tool for GPR signal processing naturally.

This article introduces short time fourier transform、wavelet transform、bilinear transform、S transform and generalized S transform by comparing their advantages and disadvantages as well as time-frequency resolution. The basic principle of S transform is focused on, the intrinsic link between short time fourier transform、wavelet transform and S transform is pointed out. Researches on time-frequency analysis of GPR signal of objects currently focus on interference waves and noise removal to improve signal to noise ratio and profile resolution for the detection and location of objects, or identification and classification of objects further by extracting statistical features. The very researches mainly refer to detection of landmines, however, lack of studies on time-frequency characteristics of GPR signal of targets. This paper will carry out some basic researches on small objects and thin wedge using generalized S transform, it will explore the time and time-frequency domain characteristics of GPR signal when target geometry parameters、electrical parameters(permittivity and conductivity) change and extract time-frequency attributes to build qualitative or quantitative relationship between attributes and target parameters, so the interpretation of GPR signal from time-frequency domain can be desired.

Key Words: Ground Penetrating Radar(GPR); Time-Frequency Analysis;
Time-Frequency Attributes.

厦门大学博士论文摘要库

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 探地雷达基本工作原理	3
1.3 时频分析方法研究现状	6
1.4 探地雷达信号处理研究现状	8
1.5 本文主要研究内容	11
1.6 本文主要章节介绍	11
第二章 几种时频分析方法对比	13
2.1 解析信号简介	13
2.2 不确定性原理	14
2.3 传统时频分析方法介绍	15
2.3.1 短时傅立叶变换 (STFT)	15
2.3.2 小波变换 (WT)	17
2.3.3 维格纳-威尔分布 (WVD)	19
2.4 S 变换与广义 S 变换	21
2.4.1 S 变换 (ST)	21
2.4.2 广义 S 变换 (GST)	24
2.5 时频分析方法比较	25
2.5.1 数值算例分析	25
2.5.2 仿真算例分析	28
2.5.3 实际资料分析	30
2.6 本章小结	31
第三章 小物体探地雷达信号时频属性	33

3.1 研究现状概述	33
3.2 变换参数和双峰频点的选取	33
3.3 小物体探地雷达信号时频特征分析	34
3.3.1 单个物体的 GPR 信号时频分析	34
3.3.2 两个物体的 GPR 信号时频分析	38
3.4 本章小结	43
第四章 薄层探地雷达信号时频属性	44
4.1 薄层研究现状	44
4.2 薄层探地雷达信号时频属性	47
4.2.1 仿真模型说明和结果分析	48
4.2.1.1 反射系数等值异号	49
4.2.1.2 反射系数不等值异号	51
4.2.1.3 反射系数等值同号	53
4.2.1.4 反射系数不等值同号	55
4.2.2 薄层时频属性与厚度的关系	57
4.2.3 薄层时频属性与电性参数的关系	63
4.3 本章小结	66
第五章 结论与建议	68
参考文献	70
攻读学位期间发表的论文和参与的科研项目	77
致 谢	78

Contents

Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Research Background and Significance	1
1.1.1 Research Background.....	1
1.1.2 Research Significance	2
1.2 Basic Working Principle of GPR.....	3
1.3 Current Development of Time-Frequency Analysis.....	6
1.4 Current Development of GPR Signal Processing	8
1.5 Main Contents of the Thesis	11
1.6 Thesis Structure	11
Chapter 2 Comparison of Certain Time-Frequency Analysis	13
2.1 Introduction to Analytic Signal	13
2.2 Uncertainty Principle	14
2.3 Introduction to Traditional Time-Frequency Analysis	15
2.3.1 Short Time Fourier Transform(STFT).....	15
2.3.2 Wavelet Transform(WT).....	17
2.3.3 Wigner-Ville Distribution(WVD).....	19
2.4 S Transform and Generalized S Transform.....	21
2.4.1 S Transform(ST).....	21
2.4.2 Generalized S Transform(GST).....	24
2.5 Comparison of Time-Frequency Analysis	25
2.5.1 Numerical Example	25
2.5.2 Simulation Example	28
2.5.3 Field Data Example	30
2.6 Summary	31
Chapter 3 Time-Frequency Attribute of GPR Signal of Small Objects	33
3.1 Research Overview	33
3.2 Transformation parameter and Frequency Point Selection	33
3.3 Time-Frequency Characteristic of GPR Signal of Small Objects.....	34
3.3.1 Time-Frequency Analysis of GPR Signal of Single Object	34
3.3.2 Time-Frequency Analysis of GPR Signal of Two Objects	38

3.4 Summary	43
Chapter 4 Time-Frequency Attribute of GPR Signal of Thin Bed	44
4.1 Research Overview.....	44
4.2 Time-Frequency Attribute of GPR Signal of Thin Bed	47
4.2.1 Simulation Model and Results Analysis.....	48
4.2.1.1 Equivalent Reflection Coefficients of Opposite Sign	49
4.2.1.2 Different Reflection Coefficients of Opposite Sign	51
4.2.1.3 Equivalent Reflection Coefficients of Same Sign	53
4.2.1.4 Different Reflection Coefficients of Same Sign.....	55
4.2.2 Relationship between Time-Frequency Attribute of Thin Bed and Thickness.....	57
4.2.3 Relationship between Time-Frequency Attribute of Thin Bed and electrical parameters.....	63
4.3 Summary	66
Chapter 5 Conclusions and Proposals	68
References	70
Published Papers and Involved Research Project	77
Acknowledgments	78

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

本论文研究内容来源于国家自然科学基金课题“探地雷达信号谱属性及其关键应用技术研究（项目编号 NO. 40774065）”。

在信号处理中，信号一般分为两大类：确定性信号和随机信号，而随机信号又可以分为平稳的和非平稳的。信号的平稳或非平稳主要是根据信号的统计量特征来衡量，常用的统计量包括均值(一阶统计量)、相关函数与功率谱密度(二阶统计量)，还包括高阶矩、高阶累积量和高阶谱等高阶统计量。若信号的联合分布函数相对于时间位移是不变的，即信号的各阶统计量与时间无关，则称信号是平稳信号；若信号某阶统计量随时间变化，则称信号为非平稳信号或时变信号。

传统信号处理理论研究的对象大多局限于平稳信号，最常用的分析和处理方法是傅立叶变换。信号的傅立叶正反变换实现了信号在时域和频域的相互转换，在频域中，傅立叶变换将信号分解为不同频率分量的线性组合。但是傅立叶变换是一种全局变换，即对信号的表征完全在频域，只能从整体上指出信号中含有的频率成分，却不能告诉我们信号的频率是如何随时间变化的。

在许多工程应用场合，信号往往是非平稳的，其统计量是时变函数，这时仅仅了解信号在时域或频域的全局特性是远远不够的，我们需要知道信号的频谱随时间变化的情况。为了分析和处理非平稳信号，人们对傅立叶变换进行了推广甚至根本性的革命，提出并发展了一系列新的信号处理理论，联合时频分析（Joint Time Frequency Analysis, JTFA）就是其中一种重要的方法[1]，其基本思想是设计时间和频率的联合函数，利用它可以同时描述信号在不同时间和频率处的能量密度或强度。非平稳信号分析与处理是现代信号处理的一个重要研究内容和发展方向，在通信、雷达、信息对抗、自动控制、模式识别、水声、机械振动、故障诊断、地震勘测和生物医学工程等领域有着广泛的应用。

探地雷达（Ground Penetrating Radar, GPR）又名地质雷达[2-3]，是一种高效

的浅层地球物理探测技术,它通过发射高频电磁脉冲波,利用地下介质电性参数的差异,根据回波的振幅、波形和频率等运动学和动力学特征来分析和推断介质结构和物性特征。与探空雷达不同,探地雷达使用的频率一般低于前者,其理论研究主要是电磁波在有耗介质中的传播,由于介质的不均匀性、各向异性、强衰减性等,其复杂程度较之探空雷达要大得多[4]。与传统的地球物理方法相比,探地雷达具有快速便捷、操作简单、抗干扰和场地适应能力强、探测分辨率高等方面的优势,因而该技术一面世便受到工程物探界的普遍重视。20 世纪 70 年代以来,随着计算机和微电子技术的飞速发展,探地雷达无论是在仪器设备还是数据处理等方面都得到普遍提高,其应用范围不断扩大,已广泛应用于建筑工程质量检测[5-7],城市基础设施探测和检测[7-8],公路(机场跑道)质量检测[9-11],铁路路基质量检测[12],岩土工程勘察与地质勘探[13],隧道检测[14],堤坝、库岸等水利工程探测[15],考古探测[16-17],环境检测[18],军事与安全探测[19-21]。

探地雷达发射的电磁波在地下介质中传播时,界面两侧介质介电常数之间的差值越大,其对电磁波的反射越强烈;反之,其对电磁波的反射越弱。由于地下不同介质的物性参数对电磁波的吸收衰减作用各不相同,雷达剖面图中所呈现的波形也各不相同,当地下为松散不均匀的介质时,表现在雷达剖面中是杂乱无章的波形,当地下介质中存有空隙时,雷达波形便会有剧烈的变化[22]。由于地层吸收和孔隙流体等各种原因,探地雷达信号往往具有非线性、非平稳特征,即实际探地雷达资料的频率成分是随时间变化而变化的,因而基于平稳信号分析理论的常规傅立叶变换和功率谱估计方法就失去了物理意义,不适合于表征某一时间点的频率成分分布情况,因此需要用时频分析手段来对其进行处理。

1.1.2 研究意义

电磁波在地下介质中的传播与反射比空间更为复杂,虽然当今的电磁学理论已相当成熟,然而 GPR 技术还处在不断完善的过程中。在现有的计算机水平下,地质结构和地质材料的多样性、目标电磁特性和几何形状的复杂性不断向 GPR 提出新的挑战,由于地球表层和人们生产生活的密切关系,日趋广泛的地下探测活动推动着 GPR 硬件系统的发展和数据处理技术的创新。由于有许多新的课题需要研究解决,探地雷达技术愈来愈受到人们的重视,得到了迅速的发展与提高,

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库